



APROXIMACIÓN HISTÓRICA A LOS ELEMENTOS DE SUJECIÓN METÁLICOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL ESPAÑOLA DE LOS SIGLOS XVII Y XVIII

HISTORICAL APPROACH TO THE METAL FASTENINGS USED IN THE
SPANISH SHIPBUILDING DURING THE 17TH AND 18TH CENTURIES

APROXIMAÇÃO HISTÓRICA AOS ELEMENTOS DE FIXAÇÃO METÁLICOS
EMPREGUES NA CONSTRUÇÃO NAVAL ESPANHOLA DOS SÉCULOS XVII E XVIII

Sergio José López Martín¹ y Nicolás C. Ciarlo²

¹ Programa Doctoral en Historia y Arqueología Marítimas de la Universidad de Cádiz (España). E-mail: sergis.mundo92@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8703-6721>

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Instituto de Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires (IA, FFyL-UBA). E-mail: nciarlo@conicet.gov.ar

 <https://orcid.org/0000-0002-1995-6227>

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: López Martín, S. J. y Ciarlo, N. C. (2021). Aproximación histórica a los elementos de sujeción metálicos empleados en la construcción naval española de los siglos XVII y XVIII. *Revista de Arqueología Histórica Argentina y Latinoamericana*, 15(1), 92-121.

Recibido: 4 de noviembre de 2021

Aceptado: 28 de enero de 2022

RESUMEN

La construcción de barcos de todas clases y portes, ya sean para uso militar o mercante, exigían del facultativo el conocimiento de cada una de las partes y elementos de las naves. En particular, la clavazón y pernería empleadas tuvieron gran importancia, por ser los elementos que mantienen unidas y aseguradas las piezas estructurales de madera que componen el casco de los barcos. El objetivo principal de este artículo es contribuir a una caracterización de los aspectos técnicos de estos elementos en el contexto de la construcción naval española de los siglos XVII y XVIII. Para ello, se abordarán nociones básicas sobre la morfología y dimensiones de la pernería y clavazón metálica, con base en los principales tratados de la época, para posteriormente desarrollar los métodos de fabricación y materiales utilizados. Los aspectos analizados se enfocan en los barcos de la Real Armada española. Esta información contribuirá a discutir el grado de estandarización de los sistemas de sujeción empleados en la construcción naval del periodo, revistiendo interés para el análisis e interpretación de las evidencias asociadas a sitios de naufragio.

Palabras clave: Pernos y Clavos de Metal; Industria Naval; Real Armada Española; Siglos XVII y XVIII.



ABSTRACT

Shipbuilding of naval and merchant ships of different types and sizes has required a profound knowledge of every constitutive element. Bolts and nails, in particular, played a significant role as they maintain joined and secured the main structural components of wooden hulls. This article aims to contribute to assess the technical issues of the elements used within the Spanish shipbuilding during the 17th and 18th centuries. Based on contemporary naval treatises, basic notions on morphology and size of metal bolts and nails will be described. Furthermore, manufacturing methods and materials used will be developed. This analysis is focused on ships from the Spanish Navy. The data obtained will contribute to discussing the standardization degree of the structural fastenings used for ships construction of the period, which are of special value for the analysis and interpretation of evidence from shipwrecks.

Keywords: Metal Bolts and Nails; Naval Industry; Spanish Navy; 17th and 18th Centuries

RESUMO

A construção de navios de todos os tipos e tamanhos, seja para uso militar ou mercantil, exigia que o especialista conhecesse cada uma das partes e elementos das embarcações. Em particular, os pregos e parafusos utilizados foram de grande importância, por serem os elementos de união e fixação entre as diferentes peças estruturais de madeira que constituem o casco dos navios. O principal objetivo deste artigo é contribuir para uma caracterização dos aspectos técnicos destes elementos no contexto da construção naval espanhola dos séculos XVII e XVIII. Assim, serão abordadas noções básicas sobre a morfologia e dimensões de pregos e parafusos de metal, com base nos principais tratados da época, para posteriormente explicar os métodos de fabricação e materiais utilizados. Os aspetos analisados focar-se-ão nos navios da Real Armada espanhola, cujas informações contribuirão para a discussão sobre o grau de padronização dos sistemas de fixação usados na construção naval do período, que por sua vez é de especial interesse para analisar e interpretar os restos de naufrágios.

Palavras-chave: Pregos e Parafusos de Metal; Indústria Naval; Real Armada Espanhola; Séculos XVII e XVIII.

INTRODUCCIÓN

La inclusión de Francia, Inglaterra y Holanda en la navegación de ultramar durante el siglo XVII, que hasta ese momento habían monopolizado España y Portugal, provocó reiterados intentos por adecuar las naves para que pudiesen desempeñar sus funciones, incluso en las regiones más remotas del mundo. Esta centuria estuvo marcada por graves crisis económicas, sociales y políticas, así como por profundos cambios en el ámbito científico, que aunados a los avances que experimentaron posteriormente la industria y artes mecánicas, influirán en el diseño y la construcción naval. A mediados del siglo XVII asistimos al nacimiento del navío de línea, que tuvo un rol significativo a lo largo del siguiente, siendo una de las máquinas más complejas desarrolladas por el ser humano en época moderna.

Durante este tiempo, se produjeron importantes cambios en torno a los materiales y métodos de manufactura de los elementos de sujeción. La pernería y clavazón servía para ligar entre sí las piezas que componían un barco. Los pernos se utilizaban para coser las partes estructurales de mayor porte (e.g. quilla, sobrequilla, roda, tajamar, etc.), por lo general sirviendo de ligazón a tres o más maderos. Los clavos, en cambio, se utilizaban para ligar dos maderos de menor grosor (e.g. tablas del forro, tablas de cubierta, etc.); atravesaban el primero y penetraban parte importante del segundo, en el que quedaban embutidos. Como señala McCarthy, las embarcaciones no podrían haber existido sin estos objetos mundanos, ya que mantenían unidos los componentes de la estructura y le permitían resistir los esfuerzos a los que estaba sometida en la navegación (McCarthy, 2005, p. 3).

Pese a su importancia, no han ocupado un lugar igualmente significativo en los estudios históricos y arqueológicos sobre el diseño y la construcción naval europea del período. Los aportes realizados al conocimiento de esta tecnología, a excepción del estudio de McCarthy (2005), se enfocan en estudios de caso, sobre los que se han analizado en detalle aspectos vinculados a los materiales y procesos de manufactura de las piezas (e.g. Samuels, 1992; Sinko y Brooks, 1992; MacLeod, 1994; MacLeod y Pitrun, 1996; Correll et al., 2009; Ciarlo et al., 2013, 2014, 2016; Cohen et al., 2015).

En este artículo, realizaremos un análisis documental sobre los elementos de sujeción metálicos de los barcos de guerra españoles de los siglos XVII y XVIII, que han sido escasamente considerados hasta la fecha, a fin de profundizar el conocimiento sobre la materia y aportar información de utilidad para evaluar e interpretar la evidencia procedente de sitios arqueológicos.

GENERALIDADES

Los elementos de sujeción utilizados en la construcción naval pueden clasificarse

en tres grandes grupos, y a la vez subdividirse en otros más específicos en función de su uso: 1) pernos y cabillas (metálicas); 2) clavos; y 3) tachuelas y estoperoles. A nivel analítico, estos elementos también se han clasificado de diferentes maneras, de acuerdo con su morfología, dimensiones, material y peso, etc. Aquí haremos hincapié en el nombre que deriva de la función y uso de las piezas. Es necesario tener en cuenta que, en la época que nos ocupa, las clasificaciones establecidas no seguían un único criterio (e.g. la función o la forma de un perno) y las voces empleadas para una misma pieza podían diferir a nivel regional, incluso de un astillero a otro.

A grandes rasgos, la pernería y clavazón metálica utilizadas en la construcción naval de los siglos XVII y XVIII comparten aspectos morfológicos básicos: una cabeza, un asta o astil, y una punta (Figura 1).

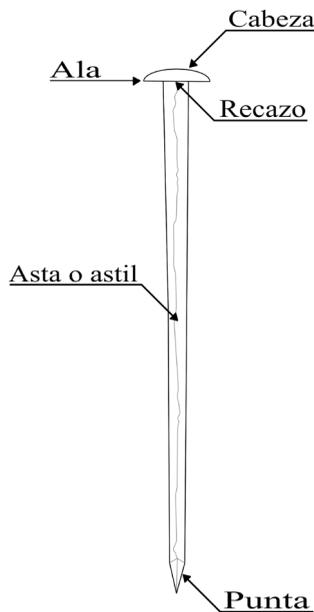


Figura 1. Partes de un clavo (genérico). Elaborado a partir de la lámina No. 51 del Álbum de Construcción Naval del Marqués de la Victoria (1756).

Figure 1. Nail's parts, based on plate No. 51 of the Marquess of Victoria's Álbum de Construcción Naval (1756).

Las diferentes partes de estos elementos podían variar conforme a las características de los maderos estructurales que debían unir. La mayoría de los elementos utilizados en el período fueron fabricados en hierro, a excepción de la clavazón de base cobre utilizada para el revestimiento de forro, introducido hacia la década de 1780 y que posteriormente daría lugar al uso de pernería y clavazón de este mismo material en la obra viva.

Pernos y cabillas metálicas

Los pernos estaban destinados a unir las principales piezas estructurales del casco, aquellas de mayor envergadura. Tenían un astil relativamente largo y de sección circular, aunque también había pernos de sección cuadrangular y octogonal¹. La cabeza y la punta presentaban una morfología heterogénea, según el caso. O'Scanlan aporta una definición detallada en su *Diccionario Marítimo Español*:

Vara ó gran clavo redondo ó cuadrado, largo y grueso (...) que sirve para unir y asegurar las diferentes piezas de un buque. Los hay de hierro, de cobre y de bronce; y según su hechura y dimensiones, y el uso particular á que respectivamente se destina cada uno, así adquiere un título particular que califica su clase; como perno de encoramento, de ojo, de argolla, de chabeta, de cáncamo, de remache ó embudillo, de atraca, de reviro, de atraviesa, arponado, rabiseco ó rabisaco, capuchino, sin cabeza, cuadrado ó de cuadrejon, de estribo, de moton, rebatido ó remachado &c. (O'Scanlan [1831], 2003, p. 414).

Entre los pernos más comunes se hallaban los de empalme o encoramento, que se utilizaban para unir dos o más piezas, ya sea que estas estuvieran de lado o unidas por medio de un empalme. Entre las primeras se encontraban varias ligazones que conformaban los miembros o cuadernas del barco; entre las segundas, las piezas de la quilla, la sobrequilla, los dormidos, los durmientes, las cintas, etc. O'Scanlan, en su *Cartilla de construcción naval*, también describe este tipo de pernos (O'Scanlan, 1829, pp. 77-78).

Estos elementos pueden dividirse en tres subcategorías: pernos pasantes, pernos no pasantes y cáncamos. Los pernos pasantes atravesaban las piezas que unían y podían asegurarse de varias maneras: mediante chaveta, sobre una arandela plana (cuadrangular o circular), siendo este sistema el más común; por medio de remache, si la punta era redondeada; o revirándose, en el caso de que fuesen pernos puntiagudos. Los pernos no pasantes se empleaban en aquellas piezas en las que no era posible asegurar la punta con los métodos ya señalados; para otorgarles una mayor fuerza de retención, se fabricaban con parte del astil y la punta arponados (López Guitián Sotomaior, ca. 1630, reproducido en Hormaechea et al. 2018, vol. III, pp. 236-237)². Las diferentes modalidades del sistema de cierre guardan entre sí cierta relación temporal, en el orden presentado. McCarthy destacó que, si bien los pernos con chaveta continuaron empleándose en casos puntuales (e.g. en aquellas piezas que requerían un ajuste especial o que debían ser fácilmente removibles), a la postre predominaron los pernos remachados (McCarthy, 2005, pp. 70-71).

Dentro de la clasificación de los pernos, también encontramos los cáncamos. Eran

¹ Es probable que ciertos pernos con astil de sección cuadrangular mencionados en algunas referencias españolas correspondan a clavos de gran tamaño, que en el ámbito anglosajón se definen a nivel genérico como *spikes*.

² Memorial que dio a su Magestad el capitán Diego López Guitián Sotomaior para las fábricas de las naos y fortificaciones que se deven hacer en ellas el año pasado del Señor (ca. 1630). RAH, dentro de la signatura 9/3522.

elementos de cuerpo redondo, que en el extremo de la cabeza tenían forma de ojo, gancho o argolla. Podían ser pasantes, asegurándose mediante chaveta o remachándose en el interior (cáncamos de reviro), o no pasantes, con la punta dentada o arponada. Se utilizaban para enganchar y asegurar aparejos, cuadernales o motones, etc. (O'Scanlan [1831], 2003, p. 136). El *Vocabulario Marítimo* añade un tercer tipo de cáncamo, con dos puntas, que clavados en palos, vergas y otras partes, servían para motones de retorno (Herederos de Thomàs Lopez de Haro, 1722, pp. 23-24). Si bien la función principal de los cáncamos no era ligar las piezas de madera y sus empalmes, cumplían esta doble función (McCarthy, 2005, p. 72).

Los pernos generalmente se usaban para unir las siguientes piezas estructurales de madera (la lista de combinaciones no es exhaustiva, ni exclusiva de los barcos españoles): quilla-varengas-sobrequilla; quilla-dormidos-sobrequilla (y curva coral); codaste-contracodaste (y curva coral); pie de roda-gorguera-roda-contrarroda; tajamar-roda-contrarroda (y curva de proa); bulárcamas-forro interno-cuadernas-forro externo; baos-curvas de alto abajo o peralto-costado; otros elementos estructurales tales como las carlingas, los durmientes, los trancaniles, etc.; empalmes de piezas tales como la quilla y las ligazones de las cuadernas (i. e. varengas, genoles, 1^a., 2^a., etc. ligazón, y reverses); y piezas metálicas como las curvas de bao y goznes del timón.

En cuanto a la forma de colocación, el *Tratado de calafatería y carena de las naves y en la forma que se debe hacer*³ ofrece una serie de advertencias para la correcta fijación de los pernos. Primero, el capataz debía corroborar que se ajustasen a las maderas de la nave en construcción, ya que sus dimensiones venían determinadas por las piezas que iban a unir. Si el perno era demasiado grueso, podía debilitar la madera y provocar que se astillase; si su grosor era menor que el del barreno empleado para hacer el orificio, los maderos no quedarían bien asegurados. Igualmente, el capataz debía comprobar el tamaño de las cabezas de los pernos del costado, para los que se realizaba un avellanado a fin de que no sobresaliesen. Antes de realizar el orificio, el capataz debía considerar que el perno sobresaliese lo suficiente para colocar la arandela y la chaveta (o remacharlo). Si el perno era más corto de lo necesario, era necesario realizar un avellanado en la parte interna. Finalmente, debía ponerse sumo cuidado en que los orificios que se hacían desde el interior no se superpusieran con los de los clavos del costado (Fernández-Duro, 1880, pp. 244-245). Una vez comprobadas estas cuestiones, se hacía la perforación y a continuación se introducía y aseguraba el perno.

Los tratados y Ordenanzas del siglo XVII no aportan datos sustanciales sobre las dimensiones de estos elementos. Por ello, para su estudio ha servido el documento titulado “Estado Memorial de todos Pernos y Clavazón necesarios para un Navío de 74 cañones” (Archivo del Museo Naval de Madrid - AMNM, Ms. 489, f. 60v-73v)⁴.

³ Tratado anónimo, con fecha ca. 1630, incluido por Cesáreo Fernández Duro en el tomo VI de sus *Disquisiciones Náuticas* (Fernández-Duro 1880:243-268).

⁴ Este documento no presenta fecha ni firma, pero el hecho de que aporte las medidas tanto en español como en francés, permite ubicarlo

Este manuscrito describe las piezas de un navío con su número, medidas y pesos (en libras y onzas). Al contrario de lo que sucede con la clavazón, la lámina No. 52 de *Diccionario demostrativo de la arquitectura naval antigua y moderna* de Juan José Navarro (Navarro, 1756), más conocido como el *Álbum de Construcción Naval* del Marqués de la Victoria, ilustra las diferentes tipologías de pernos y cáncamos, aunque no ofrece información acerca de sus dimensiones o peso (Figura 2). Por ello, utilizamos el citado documento para ejemplificar las dimensiones y peso de la pernería empleada en un navío de línea de la segunda mitad del siglo XVIII. En las tablas 1 y 2 se expone la información de los pernos de hierro de sección cuadrada y circular, respectivamente.

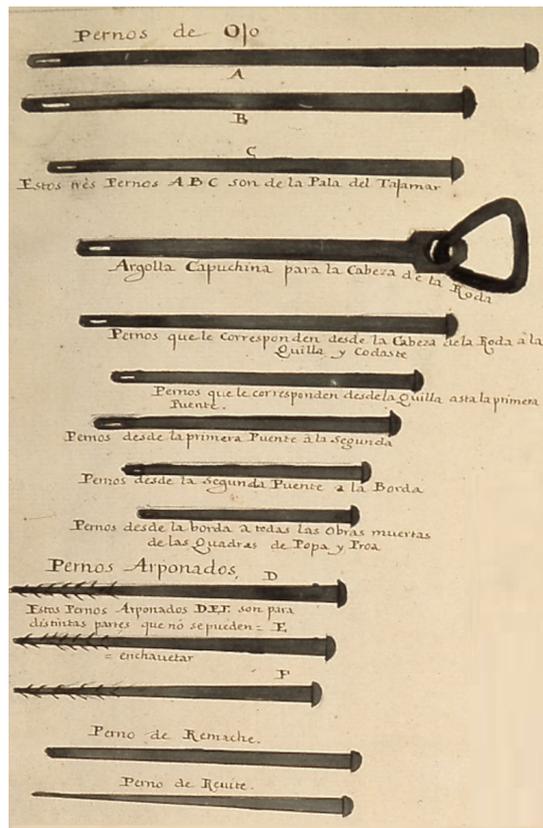


Figura 2. Selección de diferentes tipologías de pernos, primera mitad del siglo XVIII. Detalle de la lámina No. 52 del *Álbum de Construcción Naval* del Marqués de la Victoria (1756). Fuente: España, Ministerio de Defensa, AMNM.

Figure 2. A selection of different types of bolts, first half of the 18th century. Detail of plate No. 52 of the Marquess of Victoria's *Álbum de Construcción Naval* (1756). Source: Spain, Ministry of Defence, AMNM.

hacia la década de 1760, momento en el que tiene lugar la discusión sobre los sistemas de construcción "a la inglesa", de Jorge Juan, y a la "francesa", de Francisco Gautier.

Descripción	Diámetro (mm)	Peso (g)
Para el yugo	21,3 y 17,4	29,5
Para ligazones y reveses	21,3; 19,4 y 17,4	22,1
Para las ligazones de los escobenes	21,3	29,1
Para las curvas de la 1ª cubierta	21,3	29,1
Para las curvas de la 2ª cubierta	19,4	20,4
Para las curvas del alcázar y castillo	19,4 y 17,4	16,4
Para todos los tacos que sostienen los falsos baos, puntales de la caja de bombas y curvas de las falsas cubiertas.	17,4	16,5
Para los contra-trancaniles de la 1ª cubierta	15,5	8,7
Para los contra-trancaniles de la 2ª cubierta	13,5	7,3
Para los contra-trancaniles del alcázar y castillo	11,6	13,2
Para los contra-trancaniles del rebajo de la toldilla	11,6	4,7
Para los baos de dos piezas	21,3 y 19,4	14,7
Para la unión de terceras ligazones de porcas	21,3	23,1

Tabla 1. Pernos de hierro cuadrados. En algunas piezas, originalmente fue consignado más de un valor para el diámetro. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del “Estado Memorial...” (AMNM, Ms. 489, f. 60v). Las unidades usadas en los documentos son: pulgadas y líneas (23,219 y 1,934 mm) y libras (460,093 g). A los fines analíticos, las cifras están redondeadas a la primera cifra decimal.

Table 1. Square iron bolts. For some pieces, more than one diameter size was originally defined. Source: based on data from “Estado Memorial...” (AMNM, Ms. 489, f. 60v). Units used in documents: inches and lines (23,219 y 1,934 mm) and pounds (460,093 g). For analytical purpose, recorded values were rounded to the first decimal place.

También se ha incluido en esta tipología a las cabillas. Aunque generalmente estas se asocian con elementos de sujeción orgánicos, podían estar fabricadas en hierro. Según O’Scanlan, se definen como:

Pedazo de hierro ó madera, cuadrado ó redondo en el primer caso, y redondo siempre en el segundo, y de dimensiones proporcionadas, con que se encoramenta y se forra, ó se unen piezas de construcción a otras, como si fuera un clavo. La cuadrada de hierro se llama también cuadrejon, según alguno de los diccionarios que se han tenido á la vista. (O’Scanlan [1831], 2003, p. 119).

Descripción	Diámetro (mm)	Peso (g)
Para la curva coral, carlingas, y durmientes de yugos	32,9 y 31	108
Para las curvas de la 1ª cubierta	25,2	42,3
Para las curvas de la 2ª cubierta	23,2	34,2
Para las curvas del alcázar y castillo	17,4	21,9
Para las curvas del yugo y las dos aletas de ídem	25,2 y 23,2	58,4
Para las curvas de los falsos baos, y las curvas del durmiente del yugo	25,2	35
Para las curvas de las serviolas	25,2	23
Para las curvas del pasamanos	17,4	23
Para las curvas de retornos del alcázar y castillo	15,5	8,5
Para las curvas de las mesas de guarnición	17,4	14,4
Para las curvas de la caja de agua	21,3	23
Para las dos curvas de brazales, las dos curvas de la "grande cámara"	23,2	23
Para los frentes de los baos de la 1ª cubierta	25,2	33,8
Para los frentes de los baos de la 2ª cubierta	23,2	28,8
Para los frentes de los baos del alcázar y castillo	19,4	14
Para los contra-trancaniles de la 1ª cubierta	25,2	60,1
Para los contra-trancaniles de la 2ª cubierta	23,2	47,4
Para los contra-trancaniles del alcázar y castillo	17,4	32,2
Para los contra-trancaniles, sota-trancaniles y el rebajo de la toldilla	17,4	32,2
Para las horquillas que vienen de fuera a adentro	25,2	36,8
Para las puntas de sobreplanos	23,2	30,4
Para las buzardas de las bodegas	25,2	48,8
Para las buzardas de la 2ª cubierta	25,2	32,5
Para el yugo y el rabo de gallo	23,2	25,6
Para las portas de las baterías	15,5	12
Para las bitas	25,2	38,3
Para los dos cepos de driza	29	44,1
Para los cepos de escotines de gavia y velacho	27,1	29,9
Para las fognaduras de los palos	17,4	7,9
Para las pastecas de amuras y escotas	25,2	19,1
Para las fognaduras de los cabestrantes	17,4	17,7
Para las carlingas de los palos	25,2	28,9
Para los puntales del propao	15,5	13,4
Para el contra-branque y el contra-codaste	25,2	20,9
Para las mesas de guarnición	25,2 y 21,3	48,6

Tabla 2. Pernos de hierro de sección circular. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos del "Estado Memorial..." (AMNM, Ms. 489, f. 60v-62v).

Table 2. Round iron bolts. Source: based on data from "Estado Memorial..." (AMNM, Ms. 489, f. 60v-62v).

Las diferentes Ordenanzas españolas del siglo XVII (1607, 1613, 1618, 1666 y 1669), así como el *Diálogo entre un Vizcaíno y un Montañés sobre la fábrica de navíos* (Anónimo, [ca. 1631-1632] 1988) y los tratados de Gaztañeta (1688) y Garrote (1691), especifican que eran “de hierro” y redondas. En función de las piezas que iban a ligar, podían ser pasantes (con chaveta) o no pasantes. En el *Arte de fabricar reales*, Gaztañeta ([1688] 1992:111, f. 22v en el original) refiere al uso de cabillas con la punta arponada para unir las mitades de la pala del timón. Al analizar las piezas estructurales que estos elementos fijaban, la lista resultante presenta similitudes con la de los pernos. En este sentido, no se han encontrado diferencias significativas en la funcionalidad de ambas categorías.



Figura 3. Cabillas de hierro redondas. Fragmento de la lámina No. 51 del Álbum de Construcción Naval del Marqués de la Victoria (1756). Fuente: España, Ministerio de Defensa, AMNM.

Figure 3. Round iron cabillas. Detail of plate No. 51 of the Marquess of Victoria's Álbum de Construcción Naval (1756). Source: Spain, Ministry of Defence, AMNM.

Francisco Gautier aporta datos sobre estos elementos en un documento firmado en el Real Astillero de Esteiro el 12 de mayo de 1772, la “Demostración de las maderas...” (AMNM, Ms. 489, f. 366-456). Allí especifica el peso de una serie de cabillas redondas de hierro de diferentes tamaños (Tabla 3).

Cabillas redondas	Diámetro (mm)	Peso (Kg)
de 27 líneas	52,2	15,3
de 24 líneas	46,4	58,9
de 23 líneas	44,5	7,1
de 22 líneas	42,6	22,2
de 21 líneas	40,6	9,9
de 20 líneas	38,7	7,5
de 19 líneas	36,8	7

de 18 líneas	34,8	8,1
de 17 líneas	32,9	6,6
de 16 líneas	31	5,8
de 15 líneas	29	5,6
de 14 líneas	27,1	4,6
de 13 líneas	25,2	3,4
de 12 líneas	23,2	3,2
de 11 líneas	21,3	1,4
de 10 líneas	19,4	1
de 9 líneas	17,4	1,2
de 8 líneas	15,5	0,7
de 7 líneas	13,5	0,3
de 6 líneas	11,6	0,3

Tabla 3. Cabillas de hierro redondas. El peso corresponde a una media de los valores especificados para cada cabilla. El peso de las cabillas de 24 y 22 líneas destaca por sobre al resto, debido a su mayor longitud, ya que estaban destinadas a unir las piezas del tajamar. Elaboración propia a partir de los datos extraídos del documento AMNM, Ms. 489, f. 408-418.

Table 3. Round iron cabillas. Weight corresponds to a mean of values recorded for each piece. The weight of pieces of 24 and 22 lines stand out, given their length, as they were used for join the cutwater components. Source: based on data from the AMNM, Ms. 489, f. 408-418.

Clavos

Los clavos tenían un asta o astil de sección cuadrangular y una punta terminada en cuña o pirámide, según la orientación que presentaran los lados. A diferencia de los pernos, en general la fuerza de retención estaba relacionada con la propia presión que ejercían las vetas de la madera una vez clavados. Las diferentes tipologías están brevemente mencionadas en la obra de O'Scanlan ([1831], 2003, p. 160). La función de los clavos era unir aquellos elementos de madera del casco de un menor grosor, entre los que se encontraban: forro externo-cuadernas; forro interno-cuadernas; tablas de cubierta-baos/latas; falsa quilla-quilla; y palmejares-durmiente.

En relación con su morfología, a principios del siglo XVII existió una discusión sobre la sección del astil. El citado *Tratado de calafatería...* referencia que, en el Levante, se fabricaban clavos con un asta o astil de sección circular, desde la cabeza hasta un tercio de la punta, y la última sección esquinada, de manera que clavase mejor y se pudiese rebitar⁵. Entre los beneficios de este tipo de clavazón se destaca

⁵ Aunque el término rebitar se entiende en la actualidad como remachar, es probable que, en el caso de la punta de los clavos, las referencias de la época hicieran alusión al revirado del extremo que sobresalía de la madera.

que, al ser redonda, se ajusta mejor al orificio del barreno, dañando menos la madera y consiguiendo una mayor estanqueidad. Además, se indica que Vicente de Bartolosi, capitán de maestranza, empleó esta clavazón en todos los navíos que fabricó en Vizcaya demostrando la calidad de estos elementos (Fernández-Duro, 1880, pp. 246-247)⁶.

Por otro lado, López de Guitián, en su *Memorial para las fábricas de las naos* (1630) (Hormaechea et al., 2018, pp. 232-237)⁷, opinaba que los clavos debían fabricarse de sección cuadrada, ya que, al ser el barreno redondo, las esquinas del astil se embutirían en la madera dando una mayor tracción y, mejorando su fijación. Además, sugirió que los clavos de cinta, los de costado y aquellos que se colocasen de dentro a fuera del forro, o cuya punta no podía ser rebitada, tuviesen arponado el tercio del astil más cercano a la punta (Hormaechea et al., 2018, pp. 236-237). Esta discusión podría deberse a las preferencias de los constructores en materia de correcta colocación y uso de la barrena (Hormaechea et al., 2018, p. 29). Fuese cual fuese el motivo, para inicios del siglo XVIII, se utilizarán normalmente clavos de sección cuadrangular.

Con respecto a las dimensiones, según la segunda advertencia del *Tratado de calafatería...*, los clavos del forro externo debían medir dos partes más que el grosor de la tabla, de manera que un tercio de su astil la atravesase, y dos tercios quedaran en el madero al que esta iba unida. A fin de que la clavazón quedara colocada firmemente, era recomendable que pudiera ser rebitada. En cuanto al número de clavos por tabla, si tenían un jeme (12 cm) de ancho, se usarían dos clavos (uno en el canto bajo y otro en el canto alto); en el caso de medir más de un tercio de codo y menos de medio codo, tres clavos; y si eran de dos tercios de codo, cuatro clavos. Para la clavazón que unía las tablas de cubierta con las latas, si estas últimas eran más altas que anchas, los clavos debían cumplir la misma regla que con las tablas del forro externo (un tercio del astil en la tabla y dos tercios en la lata). En cambio, si las latas eran tableadas, y por tanto se debían emplear clavos más cortos, estos debían ser más gruesos. Al igual que en el caso de los pernos, primero era necesario barrenar el orificio. La advertencia tercera especificaba que se debía barrenar “a la portuguesa”, utilizando tres barrenos: de escora, de medio costado y costado mayor (Fernández-Duro, 1880, pp. 246-249).

La lámina No. 51 del *Álbum de Construcción Naval* del Marqués de la Victoria, que fue parcialmente ilustrada más arriba, también brinda un panorama pormenorizado de los clavos de hierro utilizados durante la primera mitad del siglo XVIII (Figura 4). La clavazón se divide en cinco grandes grupos: de peso, de número, de ala de mosca, de

⁶ En el asiento de Martín de Arana para la fábrica de nueve galeones, con fecha de 30 de agosto de 1632, se especifica que para los tres galeones de 800 toneladas el clavo de la tabla fuese redondo y tuviese “15 onzas de yerro”, y que para los galeones de 700 toneladas, la clavazón hubiese de ser de pernos “muy bien labrados, ribeteados, ochavitados y la cabilladura de yerro también muy bien labrada y redonda toda de hierro de Bilbao (...)” (Archivo General de Simancas - AGS, Sección C.M.C., 3ª Época, Leg. 1791, N° 1, pliego 2, f.1). En el asiento de Diego de Noja Castillo para terminar tres galeones, iniciados por Juan Bravo de Hoyos en 1636, las condiciones son iguales a las del asiento de Arana (AGS, Sección C.M.C., 3ª Época, Leg. 2283, N° 7).

⁷ Cesáreo Fernández-Duro incluye una transcripción incompleta en el volumen V de sus *Disquisiciones náuticas* (Fernández-Duro 1880, pp. 96-106).

reata y de herrar. Además de ilustrarlos, este documento especifica sus dimensiones, que reproducimos en las tablas 4 a 7. Esta obra incluye también otros tipos de clavazón para la artillería, tonelería y clavazón variada, entre la que se encontraban los clavos de forro usados para revestir los fondos de los barcos y prevenir los efectos de la broma.

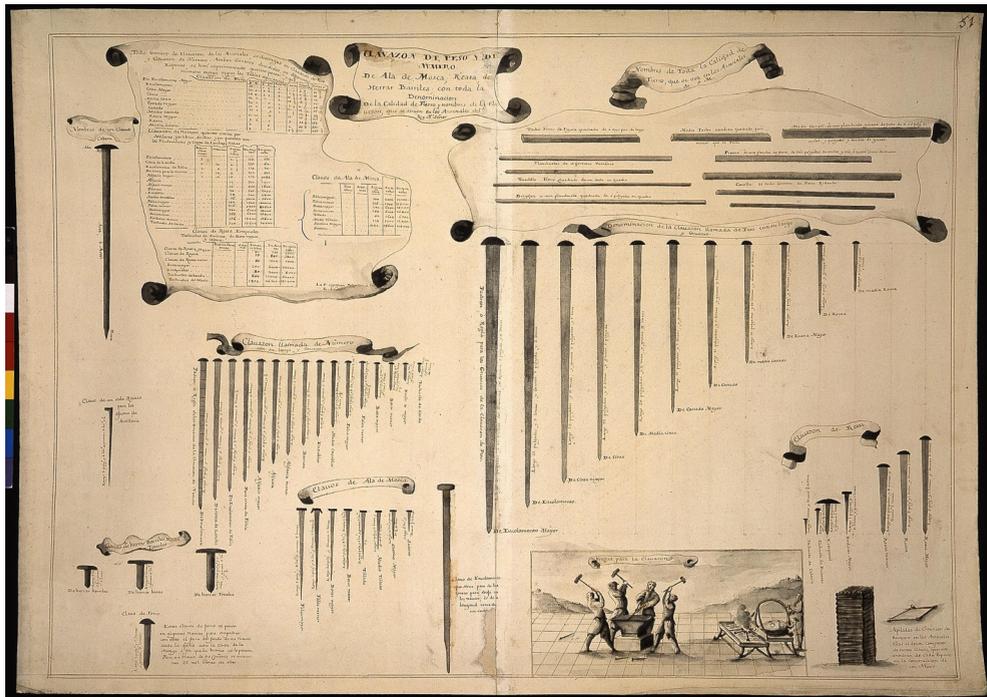


Figura 4. Lámina No. 51 del Álbum de Construcción Naval del Marqués de la Victoria (1756). Fuente: España, Ministerio de Defensa, AMNM.

Figure 4. Plate No. 51 of the Marquess of Victoria's Álbum de Construcción Naval (1756). Source: Spain, Ministry of Defence, AMNM.

Nombre	Largo (mm)	Grueso (mm)	Peso (g)
Encoramento mayor	696,6	31	3.221
Encoramento	632,7	27,1	2.509
Cinta mayor	578,6	25,2	1.675
Cinta	520,5	23,2	1.316

Media cinta	466,3	21,3	985
Costado mayor	408,3	19,4	805
Costado	352,2	17,4	474
Medio costado	274,8	15,5	431
Escora mayor	220,6	13,5	259
Escora	162,5	11,6	115
Media escora	23,2	9,7	22

Tabla 4. Clavazón de peso. Elaboración propia a partir de la lámina No. 51 del Álbum de Construcción Naval del Marqués de la Victoria (1756).

Table 4. Nails of peso. Based on plate No. 51 of the Marquess of Victoria's Álbum de Construcción Naval (1756).

Nombre	Largo (mm)	Grueso (mm)	Peso (g)
Encoramento	164,5	9,7	86,3
Cinta de lancha	152,9	9,7	75,5
Encoramento de falúa	143,2	8,4	64,7
Cinta de falúa	133,5	7,7	53,9
Alfajía mayor	123,8	7,1	46,7
Alfajía	112,2	5,8	38,3
Alfajía menor	102,6	5,8	28,8
Barrote	92,9	5,8	23
Entablar	69,7	3,9	16,4
Medio entablar	71,6	4,5	8,2
Falca mayor	61,9	3,9	4,6
Falca menor	50,3	2,6	2,1
Bota mayor	40,6	1,9	1,9
Bota menor	31	2,6	1,7
Embotar menor	17,4	1,9	0,8
Tachuela de carda	7,6	1,3	0,7

Tabla 5. Clavazón de número. Elaboración propia a partir de la lámina No. 51 del Álbum de Construcción Naval del Marqués de la Victoria (1756).

Table 5. Nails of número. Based on plate No. 51 of the Marquess of Victoria's Álbum de Construcción Naval (1756).

Nombre	Largo (mm)	Grueso (mm)	Peso (g)
Falca mayor	61,9	3,9	4,6
Falca menor	54,2	3,2	2,1
Bota mayor	46,4	1,9	1,9
Bota menor	38,7	2,6	1,7
Tillado	32,9	1,9	7,2
Medio tillado	27,1	1,9	3,6
Saetino mayor	19,4	1,5	0,4
Saetino	11,6	1,3	---

Tabla 6. Clavazón de ala de mosca. Elaboración propia a partir de la lámina No. 51 del Álbum de Construcción Naval del Marqués de la Victoria (1756).

Table 6. Nails of ala de mosca. Based on plate No. 51 of the Marquess of Victoria's Álbum de Construcción Naval (1756).

Nombre	Largo (mm)	Grueso (mm)	Peso (g)
Clavos de reata mayor	83,2	5,8	15,3
Clavos de reata	71,6	5,8	14,4
Clavos de reata menor	61,9	5,8	11,5
Bota mayor	27,1	1,9	1,9
Estoperoles	23,2	1,9	5,8
Tachuelas de bomba	17,4	1,5	0,8
Tachuelas de celosía	11,6	1,3	0,3

Tabla 7. Clavazón de reata. Elaboración propia a partir de la lámina No. 51 del Álbum de Construcción Naval del Marqués de la Victoria (1756).

Table 7. Nails of reata. Based on plate No. 51 of the Marquess of Victoria's Álbum de Construcción Naval (1756).

Además de la referida lámina, los siguientes tres documentos resultan de particular interés para comparar los pesos de los clavos: 1) “Estado Memorial...” (AMNM, Ms. 489, f. 60v-73v); 2) “Relación de los Herrajes...”, firmado por D. Ignacio Valeriano García en el Real Astillero de Esteiro el 20 de agosto de 1768 (AMNM, Ms. 489, f. 237-238); y 3) “Demostración de las maderas...” (AMNM, Ms. 489, f. 366-456), documento al que se hizo referencia previamente. Los datos allí aportados se presentan en clave comparativa en la Tabla 8.

Las medidas para cada uno de estos elementos son muy parecidas entre los distintos escritos, en especial si comparamos los datos consignados en el “Estado memorial...” y la “Demostración...”.

Descripción	Marqués de la Victoria		"Estado memorial..."		"Relación..."		"Demostración..."	
	Largo	Peso	Largo	Peso	Largo	Peso	Largo	Peso
Alfajía mayor	123,8	46,7	---	---	---	32,2	127,7	34,1
Alfajía	112,2	38,3	116,1	25,7	---	24,7	116,1	29
Alfajía menor	102,6	28,8	104,5	22,1	---	---	104,5	24,9
Barrote	92,9	23	92,9	14,7	---	19,3	92,9	17,5
Entablar	69,7	16,4	81,3	13,8	---	15,6	81,3	12
Medio entablar (reforzados)	---	---	---	---	---	17,5	75,5	15,6
Medio entablar (regulares)	71,6	8,2	69,7	6,9	---	9,2	69,7	8,7
Falca mayor	61,9	4,6	63,9	4,6	---	---	63,9	6,9
Falca menor	50,3	2,1	---	---	---	6,4	52,2	6
Bota mayor	40,6	1,9	46,4	2,9	---	5,5	46,4	4,1
Bota menor	31	1,7	---	---	---	5,5	40,6	2,3
Embotar	---	---	---	---	---	3,6	---	---
Tillado	32,9	7,2	34,8	1	---	---	34,8	1
Medio tillado	27,1	3,6	---	---	---	4,1	29	0,8
Estoperoles	23,2	5,8	---	---	---	6,4	29	4,6
Tachuelas	17,4	0,8	---	---	---	0,8	17,4	0,7
Herrar botas	19,4	7,7	23,2	0,7	---	---	---	---

Tabla 8. Comparativa de las dimensiones de la clavazón. Los valores de largo y peso se expresan en milímetros y gramos, respectivamente. Elaboración propia con base en: AMNM, Ms. 489, f. 60v-73v; AMNM, Ms. 489, f. 237-238; y AMNM, Ms. 489, f. 366-456.

Table 8. Size comparison of different types of nails. Length and weight values are in mm and g, respectively. Based on data from the AMNM, Ms. 489, f. 60v-73v; AMNM, Ms. 489, f. 237-238; and AMNM, Ms. 489, f. 366-456.

Tachuelas y estoperoles

Los estoperoles y las tachuelas eran clavos de pequeño tamaño, con una cabeza chata, amplia y redonda, utilizados para asegurar las capas, empavesadas y otros objetos que no necesitaban un gran esfuerzo para mantenerse fijos (O'Scanlan [1831], 2003, p. 266).

En particular, cabe señalar las tachuelas usadas en las planchas metálicas (plomo y cobre) del revestimiento de forro. El forrado de la obra viva de los buques fue de suma importancia en todas las grandes Marinas de época moderna, puesto que no solo aumentaba la estanqueidad de los cascos, sino que permitía una mayor durabilidad de los mismos, al impedir que moluscos y crustáceos deterioraran el maderamen de los fondos (ver Ciarlo, 2017, para una revisión histórico-arqueológica del tema). En

particular, el revestimiento con cobre fue introducido en Gran Bretaña hacia principios de la década de 1760, aunque su aceptación por parte de la Real Armada española fue más tardía (el primer barco español forrado fue el *Santa Leocadia*, en 1782). Uno de los principales problemas que surgieron a raíz del uso de planchas de cobre fue el deterioro de la pernería y clavazón de hierro de la obra viva (Bethencourt Núñez et al., 2013, pp. 52-53). Esta situación daría lugar a una serie de discusiones sobre la mejor manera de forrar los cascos. A nivel práctico, la solución fue utilizar elementos de sujeción de este mismo material, reemplazando las piezas de hierro en el caso de los barcos que estaban operativos (ver Torrejón Chaves, 1993; Quintero González, 2015; García-Torrallba, 2016; para más información sobre el caso de la Real Armada española).

Los datos técnicos sobre este tipo de elementos son relativamente escasos. En 1785, el ingeniero comandante Joaquín Iburguen presentó un modelo de clavo de cobre, que fue aprobado para su uso en todos los astilleros de la Corona. Este elemento tenía una espiga con una longitud de una pulgada y media (ca. 34,8 mm) y su cabeza tenía un grosor de un cuarto de pulgada (ca. 5,8 mm), lo que confería un largo total de ca. 40,6 mm. Además, el diámetro de la cabeza debía ser de media pulgada (ca. 11,6 mm) (AMNM 70, Ms. 69, doc. 270). Debido a sus medidas y morfología, podemos clasificarlo como una tachuela, aunque en la documentación histórica figura como clavo. En las excavaciones del navío español *Triunfante* (1795), se recuperaron varias tachuelas del revestimiento de cobre que presentan dimensiones similares y fueron fabricadas en molde con una aleación de cobre-estaño (Ciarlo et al., 2013, pp. 164-165).

CANTIDAD DE CLAVAZÓN Y PERNERÍA NECESARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN BARCO DE GUERRA

Parte importante del metal empleado en la construcción y equipamiento de los navíos la conformaba la clavazón y pernería. El *Diálogo entre un Vizcaíno y un Montañés...* (Anónimo [ca. 1631-1632], 1988:188, f.19v) precisa que, para la construcción de una nao de 500 toneladas, debían destinarse 250 quintales de todos los herrajes, a razón de medio quintal por tonelada del buque. Dentro de este cómputo, se incluye toda la clavazón de cuenta, alfajía, barrote y tillado. Además, el autor especifica que para naves de un tonelaje menor se debía aumentar aquella cantidad un 10 %, y para naves de mayor porte, disminuirla un 10 %.

Rhan Phillips, en su estudio sobre los seis galeones construidos por Martín de Arana para la Corona en 1625, señala que no hay datos sobre la cantidad total de hierro empleado en la construcción de dichas naves. No obstante, con base en el coste total de los galeones, calcula que se habrían requerido ca. 917 quintales de clavazón (Rhan Phillips, 1991, pp. 130-131). En su *Arte de fabricar reales*, Gaztañeta incluyó

dos epígrafes referentes a la cantidad y tipología de cabillería, clavazón y pernería de una nao, así como a la forma de emplear estos elementos. Sin embargo, los apartados quedaron inacabados, figurando únicamente su título (Gaztañeta [1688], (1992), p. 75, f. 31 y 34 en el original). El tratado de Garrote (1691) tampoco ofrece información sobre la cuantía de estos elementos.

Hacia principios del siglo XVIII, Gaztañeta estableció las dimensiones y proporciones de las piezas de madera necesarias para la construcción de un navío de 70 cañones, pero sin especificar la cantidad de clavazón y pernería necesarias (Gaztañeta, 1720). Existen otras fuentes documentales que ofrecen este dato, aunque para barcos de diferente porte. Tanto Aizpurúa, en sus *Observaciones...* (Aizpurúa [ca. 1732-1733], 2004), como un manuscrito anónimo de 1738 (AMNM, Ms. 1587) y O'Scanlan (1829:228), incluyen una relación de elementos para el porte de 80 cañones. Por otro lado, el “Estado Memorial...” y la “Demostración de las maderas...” de ca. 1760 y 1772 respectivamente, lo hacen para el navío de 74 cañones. Con la intención de estandarizar la información, a continuación, se presentan dos relaciones de la pernería y clavazón empleada en navíos de 70 cañones⁸.

Por un lado, el manuscrito No. 1038 del AMNM, titulado “Reglamento General de inventario...”, fechado en Cádiz el 24 de diciembre de 1737, ofrece los datos expuestos en la Tabla 9. Por otro lado, el manuscrito anónimo “Arte teórico práctico...” (Real Academia de la Historia - RAH, Ms. 9-26-3-D-73 / 9-5683), fechado en torno a 1759, sólo incluye los siguientes datos: clavazón de medio entablar (10.080); clavos de barrote (4.320); clavos de bota (200); estoperoles (4.250); y tachuelas (1.100). Finalmente, según la “Relación de los Herrajes...” (AMNM, Ms. 489, f. 237-238), para la construcción del navío *San Isidro* se utilizaron los suministros que constan en la Tabla 10.

Clavazón	Peso total (libras)
Cinta	50
Media cinta	60
Costado	90
Medio costado	130
Escora	200
Media escora	200
	No. de piezas
Alfajía	3.500
Barrote	3.500

⁸ De los 212 navíos construidos a lo largo del siglo XVIII, 46 corresponden a este porte (casi un 22 % del total de navíos de línea). Estos barcos se construyeron desde 1731 hasta 1784, mientras que otros rangos se adscriben a periodos más concretos (como el de 68 cañones, en su mayoría construidos en la década de 1750); y además fueron definidos por los principales tratadistas de la época: Gaztañeta, Autrán, Juan, e incluso Gautier.

Entablar	5.000
Medio entablar	5.000
Tillado	4.000
Bota	6.000
Tachuelas	22.000
Estoperoles	13.500
Pernos y pernetes	100

Tabla 9. Relación de clavazón y pernería, elaborada a partir de los datos extraídos de AMNM, Ms. 1038, f. 2-210. No se han incluido los elementos relacionados con la arboladura y las lanchas.

Table 9. List of nails and bolts, based on data from the AMNM, Ms. 1038, f. 2-210. Elements related to rigging and boats were not included.

Clavazón	No. de piezas	Peso en libras (total)
Alfajía mayor	500	35
Alfajía	2.442	131
Barrote	58.150	2.442
Entablar	2.800	95
Medio entablar (reforzados para el forro)	147.100	5.589
Medio entablar (regulares)	21.425	428
Falca	42.660	597
Bota mayor	7.000	84
Bota menor	114.382	1.372
Embotar	13.442	105
Medio tillado	3.000	27
Estoperoles	11.000	154
Tachuelas surtidas	4.820	8 ½
Puntas, o clavos sin cabeza	11.478	45
Pernos y pernetes	9.932	92.089 ¾

Tabla 10. Relación de clavazón y pernería utilizada en la construcción del navío San Isidro, a partir de los datos extraídos del AMNM, Ms.489, f 237-238. Se han quitado de esta relación otros elementos tales como abrazaderas, argollones, cáncamos, planchuelas y bisagras.

Table 10. List of nails and bolts used for the construction of the ship of the line San Isidro, based on data from the AMNM, Ms.489, f 237-238. Elements such as clamps, rings, eyebolts, plates, and hinges were not considered here.

Aunque se pueden apreciar disparidades en los datos aportados por los diferentes documentos, estos permiten inferir la importancia que tenía este tipo de elementos dentro de la industria metalúrgica de la época. Se estima que, durante el siglo XVIII, parte importante de la producción de hierro del País Vasco era consumida por la Real Armada. Tan sólo en clavazón para sus barcos, esta requería de hasta unas 1.200 toneladas anualmente (Rodger, 2006, p. 379).

TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN

Materiales y métodos de producción

A lo largo de los siglos XVII y XVIII, la mayor parte de la pernería y clavazón empleada en construcción naval fue de hierro forjado. En el último cuarto del siglo XVIII, con la incorporación del forro de cobre, este último material sustituyó progresivamente al hierro en la obra viva, aunque se siguieron elaborando clavos y pernos de hierro para empernar partes de la obra muerta y otros sectores del casco. Dentro de este contexto, la resistencia de los materiales fue un tema de debate que tuvo implicancias sobre el uso de los elementos de hierro y cobre (Ciarlo, 2016, pp. 251-252).

En el caso de la Real Armada, es probable que se siguiera utilizando pernería de hierro en la obra viva hasta bien entrado el siglo XIX. Lo anterior se deduce, por ejemplo, de la información volcada en una de las obras de O'Scanlan, donde también se menciona el uso de pernos y clavazón de cobre (O'Scanlan, 1829, pp. 21-22, 24, 98). Otro caso lo encontramos en la exposición que realizó el ministro de Marina Vázquez de Figueroa ante las Cortes el 24 de julio de 1834, en la que aseguró que la fragata *Esperanza* estaba empernada en hierro. Enrile Acedo, en un oficio del 21 de febrero de 1835, respondía que dicha fragata tenía sus fondos forrados con cobre, clavados con clavos del mismo metal, pero que el codaste, la quilla y la roda llevaban pernería de hierro (AMNM, 0247, Ms. 0456).

El método tradicional para la producción de pernos y clavos fue la forja manual en caliente. Estos se manufacturaban partiendo de preformas como barras, que habían sido obtenidas a partir de los tochos de hierro forjado⁹. Primero, se daba forma a la cabeza de la pieza, y posteriormente a la punta, a golpe de martillo (Juan-García, 2001, p. 31). Debido a la diversa variedad de clavos y pernos que se elaboraban, se proveía a los herreros de vitolas o modelos con diferentes gruesos y longitudes. Al tratarse de una producción artesanal, no había dos piezas iguales, aun cuando eran realizadas por una misma persona. Trabajando a destajo, un herrero especializado podía elaborar cientos de clavos al día (McCarthy, 2005:88).

⁹ Tradicionalmente, las ferrerías del País Vasco repartieron estas dos operaciones. Mientras que en unas se elaboraban los tochos, en otras se obtenían productos semielaborados tales como barras, cuadrillos, planchuelas, etc. (Urteaga, 1999, p.40).

A principios del siglo XVII, algunas fraguas empleaban martinetes. Sin embargo, Diego Brochero, solicitó que no se usasen estos artilugios, por dos razones: primero, porque la clavazón obtenida “no es buena, correosa, ni suave”, siendo más quebradiza, propensa a que se rompiesen las cabezas y poco apta para ser rebitada; y segundo, porque debido a que estas máquinas se accionaban mediante energía hidráulica, se había reducido el número de trabajadores empleados en estos talleres (Brochero 1605, citado en Hormaechea et al., 2018, vol. II, p. 23). En este sentido, la Ordenanza de 1607 estableció que toda la clavazón debía ser fabricada mediante martillado (AMNM, Col. Navarrete, T. XXIII, doc. 47, f. 292v).

Los talleres de producción fueron incorporando maquinaria a lo largo del siglo XVIII. Es el caso de las fanderías, adonde se transformaban las planchas provenientes de las herrerías en barretas de sección cuadrada (tiradillos) o rectangular (flejes) de distinto tamaño. Allí, se hacía uso de un tren compuesto por una máquina de rodillos, que le imprimía a las planchas el grueso y largo necesarios, junto a otra máquina con la que luego se cortaban. Las instalaciones tenían uno o varios hornos para calentar el hierro. Varias de estas también emplearon energía hidráulica para accionar los fuelles y mazos. En el trabajo de Egaña se describe el equipamiento, funcionamiento y producción de la fandería de Rentería, única hasta ese entonces en España (Egaña, 1788, pp. 217-222).

Este tipo de talleres con laminadores y máquinas de corte accionadas mediante energía hidráulica ya existían en otros lugares de Europa. La obra *Regnum subterraneum sive minerale de ferro* refiere su uso en Suecia, Inglaterra y Alemania (Swedenborg, 1734, p. 252, lámina 29). La materia obtenida era enviada a las fraguas privadas y los arsenales navales, donde los herreros obtenían diversos pernos y clavos, calentando el hierro y trabajándolo sobre un yunque. A finales del siglo XVIII, se produjeron importantes innovaciones en la siderurgia europea, tanto en el proceso de refinado del hierro como en el de la producción de manufacturas. Puntualmente, en 1783 Henry Cort patentó el proceso de pudelado, que tuvo varias implicaciones para la fabricación de elementos de sujeción. Mediante este método fue posible obtener un producto más barato y de notable calidad, comparable al hierro importado de Suecia (Ciarlo, 2016, pp. 48-50, 256-257). En España, sin embargo, los carpinteros de ribera optaron durante años por la clavazón fabricada de forma tradicional, a pesar de su alto coste (Juan-García, 2001, p. 31).

Para el caso de la pernería y clavazón de base cobre, el método tradicional de producción era la forja manual a partir de una preforma rectangular. En 1783, y a partir del nuevo ingenio de Cort, William Forbes patentó un nuevo sistema para la fabricación de pernos de cobre (o aleación de cobre), que consistía en pasar una barra de sección circular a través de un par de rodillos ranurados. De este modo, se obtuvieron elementos con las prestaciones mecánicas adecuadas para su uso en la obra viva de los barcos. Este método y otros similares habrían coexistido un tiempo con la modalidad precedente, especialmente en las pequeñas forjas carentes de maquinaria

(Ciarlo, 2016, pp. 259-260). En España, es probable que se empezasen a fabricar clavos y pernos de bronce mediante fundición y colada en molde hacia finales de la centuria. Por citar un ejemplo, en un documento anónimo de la colección Guillén del AMNM se mencionan pernos de bronce con una composición de 6 adarmes de estaño (ca. 10,8 g) por cada libra de cobre; entonces, la proporción de estaño sería de un 2,34 % (AMNM, 0529, Ms. 1555 / 014).

Centros de producción

En el período de estudio, la producción de hierro en España se centró en el País Vasco, debido a la calidad del mineral extraído principalmente en las minas de Somorrostro, Vizcaya¹⁰. Antes del apogeo de Suecia en el mercado europeo, el principal centro siderúrgico estaba conformado por las ferrerías de las tierras vizcaínas. Estos hierros tenían gran ductilidad, lo que permitía producir instrumentos menos robustos, pero que resistían semejantes esfuerzos que las piezas fabricadas con hierro de otros lugares. La mayor parte se labraba en las ferrerías y fanderías locales, aunque también se enviaba a las instalaciones de Guipúzcoa y otros puntos de la costa cantábrica. El producto elaborado se exportaba fuera del reino a través de los puertos del litoral atlántico. En época del rey Carlos VII, se decía que el hierro de esta procedencia era el más adecuado para construir navíos, pues se doblaba sin romperse fácilmente (Santana et al., 1999; Urteaga, 1999). Como ya señalaba Egaña en 1788, “el clavo para ser bueno ha de doblarse antes, que quebrarse”. A esto, debe sumarse la prohibición que existía de comprar este metal fuera del país, ya que era “mal sobado, peor forjado, vidrioso, agrio y saltadizo” (Egaña, 1788, p. 223).

En el caso del cobre, hacia 1754 España estaba obligada a importar este recurso batido (martillado) y tirado en planchas (laminado) del exterior, debido a la escasez que había en sus territorios, a fin de abastecer a quienes lo trabajaban para diversos usos (Domínguez Vicente, 1770, p. 186). El grueso del cobre provenía de Suecia y Hungría, hasta que en 1784 abrieron (a manos del Estado) las minas de Riotinto, en Huelva. Otro factor que también influyó en este comercio externo fue la falta de fábricas que trabajasen las planchas de cobre. Al respecto, el primer laminador se instaló en Algeciras en 1793 (Rodger, 2006, p. 379). Todo ello, junto a la entrada de España en la Guerra de Independencia de Estados Unidos, provocó que en 1782 se fomentase la creación de fábricas destinadas a la manufactura del cobre, que estuvieron vinculadas a los tres arsenales de la península.

En Cartagena funcionó la fábrica de Alcaraz, fundada en 1773 por D. Juan Jorge Graubner. Diez años después, Graubner ofreció sus servicios a la Real Armada española y recibió el primer pedido en diciembre de 1786. Esta fábrica, que estuvo dedicada

¹⁰ De esta mina se extraía una vena de hematites rojas con una ley del 57%, llegando en algunos casos de vena muy dulce (65%) y con un ínfimo nivel de fósforo, de ca. 0,015% (Balboa de Paz 2015, p.150).

únicamente a batir las planchas de cobre, incurrió en una constante deficiencia en el suministro de este producto (Quintero González, 2015, p. 257; Torrejón Chaves, 1993, pp. 73-74).

En Cádiz, se instaló una fábrica en Puerto Real (1783), con el objetivo de refinar el cobre y fabricar clavos, goznes de timón y otras piezas metálicas para el Arsenal de La Carraca (Quintero González, 2015, p. 259). En Algeciras, se fundó otra en la década de 1780, dotada de los más modernos métodos de laminación, con los que se fabricaron productos de alta calidad (Torrejón Chaves, 1993, pp. 75-76). Esta factoría también fundió machos y hembras de bronce, así como pernos, graponos y clavazón de cobre (Archivo General de la Marina “Álvaro de Bazán” - AGMAB, Ingenieros, Asuntos personales, Leg. 3745).

En Ferrol, en 1783 D. José Pardo de Andrade solicitó permiso para instalar una fábrica en Jubia, pero esta no entró en servicio hasta 1805. Su trayectoria fue muy corta, pues en 1808 se detuvo su actividad debido al conflicto de la Guerra de Independencia. Posteriormente, reabrirla sus puertas, pero su producción estuvo dedicada a la fabricación de fusiles y la acuñación de monedas (García-Torrallba, 2016, pp. 494-496; Quintero González, 2015, p. 257). Por este motivo, desde 1790 la bilbaína Casa Gardoqui fue la encargada de surtir a este arsenal de clavazón y pernería, la cual importó de Inglaterra (AGMAB, Ingenieros, Asuntos personales, Leg. 3745).

De las cuatro fábricas señaladas, la única que se empleó en la fabricación de elementos de sujeción de cobre fue la fábrica de Puerto Real. José Quintero señala que, dada la información actual, no es posible cuantificar su producción. Aparte de estos centros, y como resultado de la Ordenanza de Arsenales de 1772 que mandó que se surtiese a la Armada y Arsenales con géneros propios de los dominios del rey, se estableció en cada Arsenal un obrador de fundición para toda clase de útiles. Al mismo tiempo, hacia finales de la centuria, se establecieron varias contratas con maestros fundidores para el aprovisionamiento de elementos de base cobre; entre otros, destacaron Vicente Carbonell y Domingo Sánchez Aparicio (AMNM 71, Ms. 70, doc. 140, fol. 148; y doc. 415, fol. 446).

Las industrias del hierro y del cobre comenzaron a decaer hacia la década de 1790, momento en que España se encontraba inmersa en varios conflictos armados (e.g. la Guerra del Rosellón, la Guerra contra Inglaterra, que duró hasta 1802, o la Guerra de las Naranjas). Estos supusieron una enorme carga económica para la Real Hacienda. En el caso del hierro, una de las razones que más influyeron en esta decadencia fue el aumento del impuesto sobre las exportaciones de la vena vizcaína (Balboa de Paz, 2015, p. 150).

CONSIDERACIONES FINALES

Los elementos de sujeción empleados en la construcción naval fueron un componente indispensable de los barcos de madera, pues mantenían unidos los elementos estructurales del casco. A lo largo del periodo de estudio, se buscó normalizar los diseños y dimensiones de las embarcaciones oceánicas, lo que a su vez se traduciría en un mayor desarrollo y paulatina estandarización de la clavazón y pernería empleadas.

Dentro de este escenario, la manufactura de estos productos era una empresa que no suponía, en términos de conocimientos y medios, una complejidad semejante a la que implicaban otros elementos como las anclas y cañones. Por otro lado, pese a la creciente mecanización en la industria metalúrgica, en numerosos talleres los herreros continuaron utilizando técnicas de producción de carácter artesanal, como la forja manual. En cuanto a las materias primas utilizadas, destacó por su calidad la vena de hierro extraída de las minas de Somorrostro, con la que se abasteció a España y a otras potencias europeas; aquella también se valió de productos del exterior, sobre todo en el caso del cobre.

Los tratados y manuscritos del siglo XVIII presentan información que permiten establecer las dimensiones y el peso de las diversas tipologías de clavazón y pernería. Esto, junto a las representaciones gráficas del *Álbum de Construcción Naval* y las pautas de clavado y empernado, pueden resultar una herramienta muy útil para las investigaciones en sitios de naufragio de la época. Estos datos deben ser entendidos como una referencia general, debido a la amplia variabilidad de elementos de sujeción usados en la práctica y a que las piezas de una misma tipología podían ser heterogéneos, dados los criterios y preferencias particulares de los constructores y maestros artesanos.

El panorama presentado constituye un aporte de cara a la definición de los diferentes sistemas de sujeción y clasificación de los elementos diagnósticos empleados en la construcción naval española durante los siglos XVII y XVIII. En términos generales, este marco podrá ser utilizado para orientar los estudios e interpretación de restos de naufragios del periodo; a la vez, estos últimos permitirán enriquecerlo, aportando información sobre aspectos técnicos de la clavazón y pernería, las manifestaciones concretas y prácticas locales en torno a la manufactura y el empleo de estos elementos.

Así, este trabajo se inscribe dentro de una estrategia de investigación en el campo de la arqueología náutica, que ha ganado importante terreno en los últimos años y que hace énfasis en la necesidad de establecer criterios comunes a nivel internacional para obtener y publicar datos de los sitios de manera sistemática (Borrero et al., 2021). Con base en esta estrategia, se busca llevar a cabo estudios comparativos y evaluar diferencias y similitudes, conceptos, patrones y tendencias en torno a la tecnología náutica del pasado sobre bases sólidas de información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fuentes primarias

- » Archivo General de Simancas - AGS

- » Sección de Contaduría Mayor de Cuentas – CMC, 3ª Época:
 Legajo 1791, nº 1. Asiento de Martín de Arana para la fábrica de 9 galeones. Fecha: 30.08.1632.
 Legajo 2283, nº7. Asiento de Diego de Noja Castillo para concluir y entregar los tres galeones iniciados por Juan Bravo de Hoyos. Fecha: 23.01.1637.

- » Archivo General de la Marina “Álvaro de Bazán” - AGMAB

- » Ingenieros de Marina, Asuntos personales, Leg. 3745. Tejada, J. F. I. de (1793). Expediente sobre las fábricas de latón de Alcaraz. Fecha: 26.04.1793.

- » Archivo del Museo Naval de Madrid - AMNM

- » Fondo General Libros de Manuscritos, 0247:
 Ms. 456. Enrile Acedo, P. (1835). “Oficio sobre pernos de la Fragata ‘La Esperanza’”.
 Ms. 489, f. 60v-73v. Anónimo (ca. 1760). “Estado Memorial de todos Pernos y Clavazón necesarios para un Navío de 74 cañones”.
 Ms. 489, f. 237-238. Valeriano García, I. (1768). “Relación de los Herrajes, y Clavazones de peso, y cuentas empleadas en el Buque del Navío de S.M. nombrado el San Isidro construido en este Astillero, con expresión del número y peso de cada partida”. Real Astillero de Esteiro.
 Ms. 489, f. 366-456. Gautier, F. (1772). “Demostración de las maderas, clavazones, hierro, metales, betunes, jarcia, tejidos, y más géneros que con distinción de las partes de obra en que se emplean, se manifiesta necesario, para la construcción de un navío de 74 cañones, el cureñaje de estos, la lancha y botes, arboladuras, con su aparejo, y velamen, según la actual disposición del Brigadier Ingeniero Gral. Hidráulico, y de Construcción Don Francisco Gautier”.
 Ms. 1038. Anónimo (1737). “Reglamento General de inventario para los navios desde veinte y ocho codos de manga hasta veinte inclusive que se devera practicar en los reales arcenales de los departamentos de SM. Contiene el methodo y regla de aparejar, con expresion de las cantidades, gruesos, largos de arboladura, jarcia, y motoneria de lo pendiente, como del armamento perteneciente a artilleria y asimismo de respetos y repuestos para campañas de seis meses y viages de America”.
 Ms. 1587. Anónimo (1738). “Journal des affaires de Notre commerce, comence [...] a lieu Grana [...] ve es le père Juin 1738”.

- » Colección Vargas Ponce, Serie primera, numeración romana, vol. 1:
 Tomo XXXVIII, (70, Ms. 69), doc. 270, fol. 275. Valdés, A. (1785). Carta dirigida a José de Rojas para que se fabriquen los clavos de cobre inventados por el ingeniero comandante Joaquín Iburguen. Fecha: 21.06.1785.
 Tomo XXXIX (71, Ms. 70), doc. 140, fol. 148. Valdés, A. (1790). Carta a José de Rojas sobre la provisión de clavos de bronce que va a hacer el fundidor Domingo Sánchez Aparicio. Fecha: 25.05.1790.
 Tomo XXXIX (71, Ms. 70), doc. 415, fol. 446. Valdés A. (1795). Carta a Miguel José Gastón para que no se celebre la contrata con Francisco Sánchez Navarro para proveer clavazón de bronce, ya que puede

suministrarla el fundidor Vicente Carbonell. Fecha: 20.01.1795.

- » Colección Guillén
Inventos, (0529, Ms. 1555 / 014) Tomo II, doc. 14. Anónimo (s.f.). Nota sobre la mezcla que se echa a los pernos de bronce.
- » Colección Navarrete
T. XXIII, doc. 47. “Ordenanzas expedidas por el Rey en Madrid a 21 de diciembre de 1607 para la fábrica de Navíos de Guerra y Mercante, y para la orden que se había de observar en el arqueamiento de los que se tomasen a particulares para servicio de las Armadas Reales”. Fecha: 21.12.1697.
- » Real Academia de la Historia - RAH
Ms. 9-26-3-D-73 / 9-5683. Anónimo (ca. 1759). “Arte teórico práctico para la construcción de un navío con expresión y debuxo de las piezas de que se compone”.

Fuentes publicadas

- » Anónimo [ca. 1631-1632] (1998). *Diálogo entre un Vizcaíno y un Montañés sobre la fábrica de navíos*. M. I. Maroto Vicente (Ed.). Universidad de Salamanca.
- » Balboa de Paz, J. A. (2015). *La siderurgia tradicional en el noroeste de España (siglos XVI-XIX)*. CSED, S.L.
- » Bethencourt Núñez, M., Bocalandro Rodríguez, A. y Romero-Pastor, J. (2013). Datación de pecios de los siglos XVIII y XIX a través de la caracterización de los forros de cobre. En *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal* (pp. 51-62). Grupo Español de Conservación.
- » Borrero, R., Schwindinger, P., Castelli, A., Ciarlo, N. C., Torres, R., Manders, M., Castro F. y Furuta, R. (2021). Seeking a common ground for The Nautical Archaeology Digital Library. Reflections on Science, Method, Theory and Templates. *Virtual Archaeology Review*, 12(24), 11-24. <https://doi.org/10.4995/var.2021.14331>
- » Ciarlo, N. C. (2016). *Innovación tecnológica y conflicto naval en Europa occidental, 1751- 1815: aportes arqueológicos e históricos al conocimiento de la metalurgia y sus aplicaciones en los barcos de guerra*. (Tesis Doctoral inédita, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina).
- » Ciarlo, N. C. (2017). Experimentación, transferencia tecnológica y conservadurismo: notas sobre la introducción del aforro de cobre en los barcos de madera del siglo XVIII. *Revista Teoría y Práctica de la Arqueología Histórica Latinoamericana*, 6, 9-27. <https://doi.org/10.35305/tpahl.vi6.48>
- » Ciarlo, N. C., De Rosa, H., Lucchetta, M. C., Marino, P., Rodríguez Mariscal, N., Martí Solano, J. y Maxia, G. (2014). Estudio comparado de dos navíos franceses de la Batalla de Trafalgar: los elementos de fijación estructurales del Fougueux (1785-1805) y Bucentaure (1804-1805). En D. Juanes Barber y C. Roldán García (coord.), *Actas del X Congreso Ibérico de Arqueometría* (pp. 217-229). Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R de CulturArts Generalitat.

- » Ciarlo, N. C., Lucchetta, M. C. y De Rosa, H. (2013). Análisis metalográfico y químico de un conjunto de artefactos recuperados del naufragio Triunfante (1756-1795), Golfo de Rosas (Cataluña, España). En X. Nieto, M. Pujol i Hamelink y G. Vivar (Eds.), *El vaixell Triunfante: Una fita de la ciència i de la tècnica del segle XVIII* (pp. 159-171). Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya.
- » Ciarlo, N. C., Maxia, G., Rañi, M., De Rosa, H., Geli Mauri, R. y Vivar Lombarte, G. (2016). Craft production of large quantities of metal artifacts at the beginnings of industrialization: Application of SEM-EDS and multivariate analysis on sheathing tacks from a British transport sunk in 1813. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 5, 263-275. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.11.019>
- » Cohen, M., Ashkenazi, D., Kahanov, Y., Stern, A., Klein, S. y Cvikel, D. (2015). The Brass Nails of the Akko Tower Wreck (Israel): Archaeometallurgical Analyses. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 4, 188-206.
- » Correll, F. D., Cole, L. K., Slater, C. J., Vanhoy, J. R. y Fithian, C. H. (2009). PIXE Analysis of Metal Hull Bolts From HMB DeBraak. *AIP Conference Proceedings*, 1099, 265-268.
- » Domínguez Vicente, J. M. (1770). *Ilustración y continuación a la Curia Philipica, y corrección de las citas que en ella se hallan erradas: trátase del comercio marítimo*. Imprenta de Francisco Berton.
- » Egaña, B. A. de (1788). *Continuacion de la Memoria que sobre las fabricas de anclas, de palanquetas, de baterias de fierro, la fanderia y otros establecimientos de la provincia de Guipuzcoa, diò á luz Don Juan Antonio Enriquez... ministro general de marina Enriquez*. Don Francisco de la Lama.
- » Fernández-Duro, C. (1880). *Disquisiciones náuticas*. Tomo VI. Madrid: Imprenta, estereotipia y galvanoplastia de Aribau y Ca (sucesores de Rivadeneyra).
- » García-Torralba, E. (2016). *Navíos de la Real Armada. 1700–1860*. Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos de España.
- » Garrote, F. A. [1691] (2008). *Recopilación para la Nueva Fábrica de Baxeles Españoles*. J. C. Mejías Taverro (Ed.). Centro Marítimo y Naval Castro Méndez Núñez.
- » Gaztañeta, A. de [1688] (1992). *Arte de fabricar reales*. F. Fernández González, C. Apestegui Cardenal y F. García Miguélez (eds.). Lunwerg.
- » Gaztañeta, A. de. (1720). *Proporciones de las medidas mas essemnciales, dadas por el Theniente General de la Armada Real del Mar Oceano Don Antonio de Gaztañeta*. Felipe Alonso.
- » Herederos de Thomàs Lopez de Haro (1722). *Vocabulario marítimo, y explicacion de los vocablos, que usa la gente de Mar, en su exercicio del arte de marear*. Sevilla: Imprenta Castellana, y Latina de los Herederos de Thomàs Lopez de Haro.
- » Hormaechea, C., Rivera, I., y Derqui, M. (2018). *Los barcos oceánicos del Atlántico ibérico en los siglos XVI y XVII*. Barcelona.

- » Juan-García, J. M. de (2001). *La carpintería de ribera en Galicia (1940 – 2000)*. Universidade da Coruña.
- » MacLeod, I. (1994). Conservation of corroded metals – a study of ships' fastenings from the wreck of HMS Sirius. En: David A. Scott, Jerry Podany y Brian B. Considine (Eds.), *Ancient and Historic Metals Conservation and Scientific Research* (pp. 265-278). Getty Conservation Institute.
- » MacLeod, I. D. y Pitrun, M. (1996). Metallography of Copper and Its Alloys Recovered From Nineteenth Century Shipwrecks. En G. Kuppuram y K. Kumudamani (Eds.), *Marine Archaeology. The Global Perspectives* (pp. 347-356). New Gyan Offset Press.
- » McCarthy, M. (2005). *Ships fastening's. From sewn boat to steamship*. College Station: Texas A&M University Press.
- » Navarro, J. J., Marqués de la Victoria (1756). *Diccionario demostrativo de la arquitectura naval antigua y moderna. Cátedra de Historia y Patrimonio Naval, Armada Española*. Universidad de Murcia. <https://catedranaval.files.wordpress.com/2014/09/mdlv.pdf>
- » O'Scanlan, T. (1829). *Cartilla Práctica de Construcción Naval (2da. ed.)*. Imprenta Nacional.
- » O'Scanlan, T. [1831] (2003). *Diccionario Marítimo Español*. Museo Naval de Madrid (Ed.). Imprenta Real.
- » Aizpurúa, Jerónimo de [ca. 1732-1733] (2004). *Observaciones que se practican para la delineación de navíos en las costas de Cantabria*. Facsímil y Estudio Histórico. Estudio histórico y transcripción de Odriozola Oyarbide, L. y S. Arrizabalaga Marín. Fundación Oceanográfica de Guipúzcoa.
- » Quintero González, J. (2015). La introducción de los forros de cobre en el Sur. En J. Quintero González, M. Alfonso Mola y C. Martínez Shaw (Eds.), *La economía marítima en España y las Indias: 16 estudios* (pp. 255-280). Ayuntamiento de San Fernando.
- » Rhan Phillips, C. (1991). *Seis galeones para el rey de España. La defensa imperial a principios del siglo XVII*. Alianza Editorial, S. A.
- » Rodger, N. A. M. (2006). *The Command of the Ocean. A Naval History of Britain, 1649-1815*. Penguin Books.
- » Samuels, L. E. (1992). *Australia's Contribution to Archaeometallurgy. Materials Characterization*, 29, 69-109.
- » Santana, A., Zabala, M., Torrecilla, M.J. e Ibáñez, M. (1999). *Bilbao: la montaña de hierro. En Hierro al mar* (pp. 28-37). Noja: Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar.
- » Sinko, R. J. y Brooks, C. R. (1992). Microstructural Analysis of Brass and Zinc Nails from the Wreckage of a Sailing Ship. *Materials Characterization*, 29, 259-265.
- » Swedenborg, E. (1734). *Regnum subterraneum sive minerale de ferro (3 vol)*. Friederici Hekelii.

- » Torrejón Chaves, J. (1993). Innovación Tecnológica y metalurgia experimental: Los forros de cobre en los buques de guerra españoles del siglo XVIII. En *Arqueología Industrial: Actas de los IX Encuentros de Historia y Arqueología* (pp. 57-82). Ayuntamiento de San Fernando.

- » Urteaga, M. (1999). *La industria del hierro en Guipúzcoa*. En *Hierro al mar* (pp. 38-44). Instituto de Estudios Cántabros y Asociación Tajamar.